Journal of Agroecology
Vol. 13, No.2, Summer 2021, p. 325-344

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۳۴۴-۳۲۵

مقاله علمی - پژوهشی

برآورد ظرفیت افزایش تولید جو آبی در ایران از طریق حذف خلأ عملکرد بر اساس روش گیگا

امید السنی [۱]، ابراهیم زینلی [۲*]، افشین سلطانی [۳] و بنیامین ترابی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

السنی، ا.، زینلی، ا.، سلطانی، ا.، و ترابی، ب.، ۱۴۰۰. برآورد ظرفیت افزایش تولید جو آبی در ایران از طریق حذف خلأ عملکرد بر اساس روش گیگا. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۲): ۳۴۴-۳۲۵.

چکیده

در این پژوهش میزان خلأ عملکرد در مناطق اصلی زیر کشت جو آبی کشور طی سال‌های زراعی (۱۳۸۰-۱۳۹۴) از طریق دستورالعمل اطلس جهانی خلأ عملکرد (گیگا) مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مناطق اصلی تولید جو آبی در کشور تعیین شدند؛ مناطقی که بیش از ۸۵ درصد جو کشور در آن‌ها تولید می‌شود. ۱۲ منطقه اقلیمی اصلی با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی گیگا و پراکنش سطح زیر کشت جو آبی شناسایی شدند. پس از آن، ۴۸ ایستگاه هواشناسی مرجع درون مناطق اقلیمی اصلی براساس میزان پراکنش سطح زیر کشت آن‌ها انتخاب گردید. تخمین خلأ عملکرد در این مطالعه حاصل اختلاف بین مقادیر پتانسیل عملکرد برآورد شده توسط مدل SSM-iCrop2 و عملکرد واقعی گزارش‌شده جهاد کشاورزی در هر RWS طی ۱۵ سال زراعی (۱۳۹۴- ۱۳۸۰) می‌باشد. با استفاده از رویکرد پایین به بالای دستورالعمل گیگا، مقادیر خلأ عملکرد جو آبی در سطح ایستگاه‌های مرجع برآورد شده و سپس به مناطق اقلیمی اصلی و در نهایت، به کل کشور تعمیم داده شد. تعمیم نتایج از سطح ایستگاه‌ها به مناطق اقلیمی نشان داد که دامنه تغییرات متوسط پتانسیل عملکرد برآورد شده در اقلیم‌های اصلی تولید جو آبی بین ۵۲۸۳ تا ۸۲۸۶ با میانگین ۷۰۹۰ کیلوگرم در هکتار بود، در حالی‌که دامنه عملکردهای واقعی بین ۱۴۰۶ و ۳۷۲۳ با متوسط ۳۰۰۹ کیلوگرم در هکتار در سطح کشور بود. در حال حاضر بین ۳۲۳۷ تا ۴۶۹۷ و به‌طور متوسط ۴۰۸۱ کیلوگرم در هکتار خلأ در زمین‌های زراعی جو آبی کشور مشاهده می‌شود. به‌عبارت دیگر، در مناطق اقلیمی اصلی دامنه خلأ عملکرد (٪) بین ۵۰ تا ۷۶ و به‌طور متوسط ۵۸ درصد در سطح مزارع جو آبی کشور برآورد شد. طبق این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با حذف میزان خلأ برآورد شده از طریق بهبود شرایط مدیریتی و راهکارهای به‌نژادی-زراعی در زمین‌های زراعی جو آبی می‌توان مقدار تولید آن در کشور را از ۲/۲۱ میلیون تن در شرایط فعلی به ۴/۱۷ میلیون تن افزایش داد. این افزایش تولید (۱/۹۶ میلیون تن) می‌تواند بخش قابل توجهی از نیاز کشور به جو را تأمین کرده و کشور را به‌سمت خودکفایی تولید این محصول نزدیک کند.

واژه‌های کلیدی: اطلس جهانی، پتانسیل عملکرد، عملکرد واقعی، مدل شبیه‌سازی گیاهی

مقدمه

جو یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی در ایران است که به‌طور عمده به‌عنوان خوراک دام و تا حدودی غذای انسان مصرف می‌شود. این گیاه زراعی قابلیت کشت در زمین‌هایی را دارد که برای سایر گیاهان زراعی غیر قابل استفاده است (Cuesta-Marcos et al., 2016). در ایران جو بعد از گندم بیشترین سطح زیر کشت در میان گیاهان زراعی دانه‌ای را با حدود ۱/۷ میلیون هکتار دارا می‌باشد (FAO., 2018). با این وجود، آمار نشان می‌دهد که ایران طی پنج سال گذشته سومین کشور واردکننده جو در جهان بوده و به‌طور میانگین سالانه در حدود ۲/۵ میلیون تن دانه این محصول برای تأمین نیاز کشور از سایر کشورها خریداری شده است (USDA.,

۱- دانش‌آموخته دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۳- استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: zeinalistudents@gmail.com)
Doi: 10.22067/jag.v13i2.81833

2019). در شرایط حاضر، بحث امنیت غذایی علاوه‌بر موضوع تـأمین غذا به نحوه توزیع و میزان دسترسی اقتصادی مصرف‌کنندگان به غذا نیز ارتباط پیدا می‌کند و برای جلوگیری از وابستگی کامل بـه واردات محصولات زراعی، افزایش تولید به‌ویژه در مکان‌هایی با عملکردهای پایین در واحد سطح ضروری به نظر مـی‌رسـد (Anderson et al., 2016). از این‌رو، برآورد میزان خلأ عملکرد گیاه زراعی جو به‌عنـوان اولین گام به‌منظور تخمین پتانسیل افزایش عملکـرد و تولیـد جـو در کشور یک راهکار کلیدی جهت افـزایش نـرخ خودکفـایی و کـاهش میزان واردات جو به کشور شناخته می‌شود.

خلأ عملکرد گیاهان زراعی، اختلاف موجود بین عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل است که ظرفیت موجـود بـرای افـزایش عملکـرد و تولید هر یک از گیاهان زراعی را نشان می‌دهد (Hochman et al., 2012). با در دست داشتن اطلاعات لازم در رابطه با وضعیت عملکرد واقعی گیاهان زراعی، می‌توان مقادیر خلأ عملکرد را از طریق پتانسیل عملکرد برآورد شده در هر منطقه مشخص کرد. آنـالیز عوامـل خـلأ عملکرد ناشی از مدیریت متـداول در مـزارع، زمینـه را بـرای یـافتن راهکارهای مدیریت زراعی مطلوب با هدف دستیابی به عملکرد قابل حصول و طراحی راهبردهای امنیت غذایی در مقیاس منطقه‌ای، ملـی و جهانی فراهم می‌سازد (Van Wart et al., 2013).

اهمیت موضوع امنیت غذایی و ضرورت افـزایش تولیـد گیاهـان زراعی متناسب با تقاضای رو به افزایش برای غذا باعث شده است که پژوهش در زمینه خلأ عملکرد در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه به‌صورت ویژه‌ای مورد توجه پژوهشگران قرار بگیرد (Van Ittersum et al., 2013). اکثر مطالعات صورت گرفته بر اساس پـروژه اطلـس جهانی خلأ عملکرد[1] (گیگا) با هدف تحقق امنیت غذایی در کل دنیـا می‌باشد (Grassini et al., 2017). با استفاده از دسـتورالعمل گیگـا، می‌توان مناطق اصلی تولیدکننده یک گیاه زراعی را شناسایی کرد و از طریق برآورد مقادیر پتانسیل و خلأ تولید در هر یک از ایـن منـاطق، راهکارهای مناسبی را برای رسیدن به امنیت غذایی در هر کشور ارائه کرد (Lobell et al., 2009). محاسبه مقادیر خلأ عملکرد بـه‌کمـک این روش، بر اساس یک رویکرد پایین به بالا[2] با تعمیم نتایج از سطح ایستگاه‌های هواشناسی مرجع تولید گیاه به مناطق اقلیمـی اصـلی و سپس کل کشور انجام می‌شود (Van Bussel et al., 2015).

استفاده از دستورالعمل گیگا در آرژانتین نشان داد که میزان درصد خلأ عملکرد برآورد شده گیاهان زراعی ذرت (۴/۸۱ تن در هکتـار) و گندم (۲/۱۴ تن در هکتار) حـدود ۴۱ درصـد و سـویا (۱/۲۶ تـن در هکتار) تقریباً ۳۲ درصد می‌باشد. با تأمین شرایط مدیریت زراعی برای رسیدن به مقادیر قابل حصول (۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل)، میزان تولید بدون افزایش سطح زیر کشت محصولات زراعی ذرت، گنـدم و سویا می‌تواند به‌ترتیب تا ۷/۴، ۵/۲ و ۹/۲ میلیون تن در سال افزایش پیدا کند. این افزایش تولید باعث توسعه صادرات بیش از پنج درصدی محصولات زراعی مذکور از آرژانتین بـه سـایر کشـورها خواهـد شـد (Aramburu Merlos et al., 2015). همچنین، مطالعه روی گنـدم طی شرایط دیم در اروپا با روش گیگا نشان‌دهنده خلأ عملکرد بین دو تا چهار تن در هکتار بود. البته این مقدار در شمال غربی اروپـا (بـین صفر تا دو تن در هکتار) نسبت به کشورهای حوزه بالتیـک، پرتغـال، اسپانیا، جنوب ایتالیا و یونان (کم‌تر از چهار تـن در هکتـار) بـه‌دلیـل سیستم‌های مدیریتی مناسب‌تر و خاک‌های حاصـلخیر کـم‌تـر اسـت (Boogaard et al., 2013). به‌علاوه، بر اساس نتایج به‌دست آمده در ۱۶ منطقه اقلیمی اصلی تولیـد گیـاه زراعـی بـرنج در چـین، مقـادیر عملکرد واقعی (بین ۵/۲ تا ۸/۸ تـن در هکتـار) و پتانسـیل عملکـرد برآورد شده (بین ۸/۶ تا ۱۰/۸ تـن در هکتـار) بـوده و متوسـط خـلأ عملکرد برنج در کل کشور حدود سه تن در هکتار (معادل ۲۱ درصـد خلأ عملکرد) برآورد شد. میـزان متوسـط تولیـد بـرنج در چـین طـی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ طبق گزارش‌ها حدود ۲۰۶ میلیون تن بوده است که با راهکارهای مدیریتی مناسـب قابلیـت افـزایش حـدود ۳۱ میلیون تن (معادل ۱۵ درصد خلأ تولید قابل مدیریت) تولید این کشور را دارا می‌باشد (Deng et al., 2019).

طبق اطلاعات ارائه‌شده در سـایت جهـانی خـلأ عملکـرد[3] طـی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷، در بین کشورهایی که گـزارش خـود را در رابطه با مقادیر خلأ عملکرد جو در شرایط کشـت آبـی و دیـم طبـق دستورالعمل گیگا ارائه داده‌اند، کشورهای حاضر در بخش غربی اروپـا با خلأ عملکرد برآورد شده پایین (کم‌تر از ۲۵ درصد) بهترین آمار را از نظر میزان بهره‌برداری اراضی کشاورزی دارا می‌باشند. بیشترین میزان خلأ عملکرد (بیش‌تـر از ۷۰ درصـد) در ایـن گـزارش‌هـا متعلـق بـه کشورهای در حال توسعه تونس، اردن و مراکش طی شـرایط کشـت

1- Global Yield Gap Atlas (GYGA)
2- Bottom to up

3- http://www.yieldgap.org/web/guest/download_data (verified June 2017)

آبی و دیم می‌باشد.

نتایج مطالعه در استان قزوین روی گیاه زراعی جو در شرایط کشت آبی با استفاده از دستورالعمل گیگا طی سال‌های زراعی ۲۰۱۵-۲۰۱۱ نشان داد که متوسط عملکرد واقعی در پنج ایستگاه هواشناسی مرجع تعیین شده حدود ۲/۸۷ تن در هکتار و پتانسیل عملکرد برآورد شده ۸/۲۳ تن در هکتار می‌باشد. میزان خلأ عملکرد موجود در استان قزوین ۵/۵۶ تن در هکتار (معادل ۴۶ درصد خلأ عملکرد) برای این محصول تخمین زده شد (Jenab & Nazari., 2019).

با توجه به کمبود زمین‌های قابل کاشت و آب کافی در نقاط مختلف کشور، بنابراین بهترین راهکار برای افزایش میزان تولید جو در کشور و رسیدن به سطح خودکفایی در تولید این گیاه زراعی مهم، افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد که این موضوع وابسته به افزایش کیفیت مدیریت در سطح مزارع، توسعه کاربرد فناوری در کشاورزی، افزایش دانش کشاورزان و بهینه‌سازی استفاده از نهاده‌های کشاورزی و سیاست‌گذاری‌های راهبردی در نقاط مختلف کشت این گیاه در کشور می‌باشد. با این وجود، در شرایط حاضر به نظر می‌رسد که هنوز مطالعه جامعی در رابطه با برآورد میزان خلأ عملکرد در مناطق اصلی کشت آن در کشور به‌عنوان گام ابتدایی انجام نشده است. بنابراین، هدف از انجام این مطالعه، تعیین مناطق اقلیمی اصلی تولید جو کشور، برآورد میزان پتانسیل عملکرد در این اقلیم‌ها و در نهایت، تخمین میزان خلأ و تهیه نقشه خلأ عملکرد جو طی شرایط کشت آبی بر اساس اطلس جهانی خلأ عملکرد برای کل کشور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: ایران با مساحت حدود ۱۶۵ میلیون هکتار بین عرض‌های جغرافیایی ۲۴ تا ۴۰ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۲ تا ۶۶ درجه شرقی در منطقه خاورمیانه (جنوب غربی آسیا) قرار گرفته است و دارای تنوع اقلیمی در نقاط مختلف خود می‌باشد (Roozitalab et al., 2018). به‌دلیل پراکنش گسترده کشت جو در نقاط مختلف کشور، این مطالعه در سطح ایستگاه‌های هواشناسی مرجع و مناطق اقلیمی اصلی تولید جو آبی کشور با استفاده از یک دستورالعمل جهانی صورت گرفت.

جمع‌آوری اطلاعات برای اجرای دستورالعمل اطلس جهانی خلأ عملکرد (گیگا)

تهیه نقشه اقلیمی GYGA-ED[1]: برای تعیین مناطق اقلیمی اصلی کشت غالب جو آبی کشور در ابتدا با استفاده از نقشه پهنه‌بندی اقلیمی جهانی گیگا، اطلاعات و نقشه اقلیمی مربوط به ایران استخراج شد. پهنه‌ها در این طبقه‌بندی اقلیمی بر مبنای ماتریکس سه مؤلفه اصلی اقلیمی تعیین‌شده برای GYGA، یعنی درجه روز رشد با دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد، شاخص خشکی[2] (AI) و نوسانات دمایی تفکیک می‌شوند (Van Bussel et al., 2015).

ایران با توجه به کلاس‌های اقلیمی گیگا دارای ۷۲ کد اقلیمی متفاوت است، که از میان آن‌ها مناطق اقلیمی اصلی کشت جو در زمین‌های آبی کشور به‌تفکیک ارائه می‌شوند. برای اطلاعات بیشتر به سایت (http://www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted) مراجعه شود.

تهیه لایه نقاط ایستگاه‌های هواشناسی کشور: لایه نقاط ایستگاه‌های هواشناسی کل کشور با طول و عرض جغرافیایی مشخص در این مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این لایه برای انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی مرجع در روش گیگا ضروری است.

تهیه نقشه اراضی زیر کشت جو آبی در کشور: در حال حاضر برای دریافت اطلاعات میزان پراکنش زمین‌های زیر کشت گیاهان زراعی مختلف، استفاده از نقشه‌های جهانی[3] SPAM-2010 به‌عنوان ابتدایی‌ترین نیاز اجرای روش گیگا در کشور میسر می‌باشد (Harvest Choice., 2014). با این وجود، بعد از بررسی نقشه‌های رستری ارائه‌شده SPAM-2010 برای گیاه زراعی جو در شرایط کشت تحت آبیاری کشور، در بعضی از مناطق تناقض‌هایی با پراکنش واقعی کشت جو با توجه به اطلاعات تهیه‌شده از سطح کشور مشاهده گردید. بنابراین، با توجه به دستورالعمل مشخص گیگا، ابتدا هدف‌گذاری این مطالعه، به‌روزرسانی نقشه پراکنش اراضی کشت جو آبی کل کشور مطابق با مقیاس‌های ارائه‌شده نقشه‌های رستری SPAM-2010 بوده است (http://www.yieldgap.org/iran).

نقشه خاک کل کشور: در این مطالعه به‌منظور تهیه نقشه خاک، از اطلاعات HC-27[4] (حاصل دو پایگاه مهم اطلاعات جهانی خاک HWSD[5] و WISE[6]) (Koo & Dimes., 2013)، در سطح

1 -The Global Yield Gap Atlas Extrapolation Domain
2 -Aridity Index
3- Spatial Production Allocation Model
4- Harvest Choice
5- Harmonized World Soil Database
6- World Inventory of Soil Emission Potentials

کشور استفاده شده است. مقیاس هر پیکسل نقشه خاک مذکور ۵ معادل ۹/۳×۹/۳ km (۵ arc minutes) می‌باشد. نوع خاک بر اساس سه معیار بافت، عمق و حاصلخیزی (درصد کربن آلی) خاک در هر منطقه از کد ۱ تا ۲۷ طبق این نقشه شماره‌گذاری می‌شود (Han et al., 2015). خصوصیات کد خاک‌های غالب موجود در ایران در جدول ۱ارائه شده است.

تعیین مناطق اقلیمی اصلی و ایستگاه‌های هواشناسی مرجع کشت جو آبی: با استفاده از دستورالعمل گیگا (Van Bussel et al., 2015)، مناطق اقلیمی اصلی[1] (DCZ) و ایستگاه‌های هواشناسی مرجع[2] (RWS) کشت جو (شرایط کشت آبی) با استفاده از نقشه‌های سطح زیر کشت، پهنه‌بندی اقلیمی گیگا، لایه نقاط ایستگاه‌های هواشناسی کشور و اطلاعات خاک (HC-27) کل کشور تعیین می‌شوند.

تهیه اطلاعات هواشناسی: اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور برای یک دوره بلندمدت ۱۵ ساله طی بازه زمانی ۱۳۷۹–۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴– ۱۳۹۳ تهیه شده است. در این مطالعه به‌منظور محاسبه عملکرد پتانسیل در ایستگاه‌های هواشناسی مرجع، داده‌های هواشناسی روزانه شامل تشعشع بر حسب مگاژول در مترمربع، دمای حداقل و حداکثر برحسب سانتی‌گراد و مقدار بارندگی بر حسب میلی‌متر مورد نیاز است. در اغلب ایستگاه‌ها از داده‌های ساعات آفتابی برای معادله آنگستروم- پراسکات در صورت فقدان داده‌های روزانه تابش خورشیدی استفاده شده است. این معادله دقت بالای خود را طی برآورد تابش روزانه خورشید در نقاط مختلف کشور و دنیا نشان داده است (Alasti, 2011; Kamali & Moradi, 2005; Paulescu et;al., 2016).

طی مطالعه حاضر، ابتدا فرض بر این بود که تمامی ایستگاه‌های موجود دارای داده‌های هواشناسی درازمدت و قابل اعتمادی هستند، امّا بررسی دقیق‌تر داده‌ها در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی تعیین شده به‌عنوان RWS نشان داد که به‌ترتیب در کم‌تر از ۱۰ درصد از این ایستگاه‌های پوشش‌دهنده سطح زیر کشت جو آبی، داده‌های ثبت نشده و یا غیر قابل قبول وجود دارد. روش گیگا راهحلی مناسب را با هدف پرکردن خلأ ایستگاه‌های حاوی اطلاعات ناکافی با رویکرد جایگزینی ایستگاه، تحت عنوان ایستگاه‌های فرضی پیشنهاد کرده است. بر اساس رویکرد گیگا یکی از اولین مواردی که می‌توان از عنوان ایستگاه هواشناسی مرجع فرضی[3] استفاده کرد این است که بتوان از ایستگاه جایگزین جدیدی حاوی اطلاعات درازمدت (حداقل ۲۰ سال) و با کیفیت مناسب در نزدیکی آن ایستگاه (درون یک پهنه با کد اقلیمی یکسان) استفاده کرد. لذا در این مطالعه، با رعایت شرایط دستورالعمل گیگا برای جو آبی هفت ایستگاه به‌عنوان ایستگاه‌های فرضی (تلخ‌بخش، میمه، چهچهه، مزینان، احمدآباد، حاجی‌آباد (خراسان جنوبی) و خواف) در نظر گرفته شده‌اند.

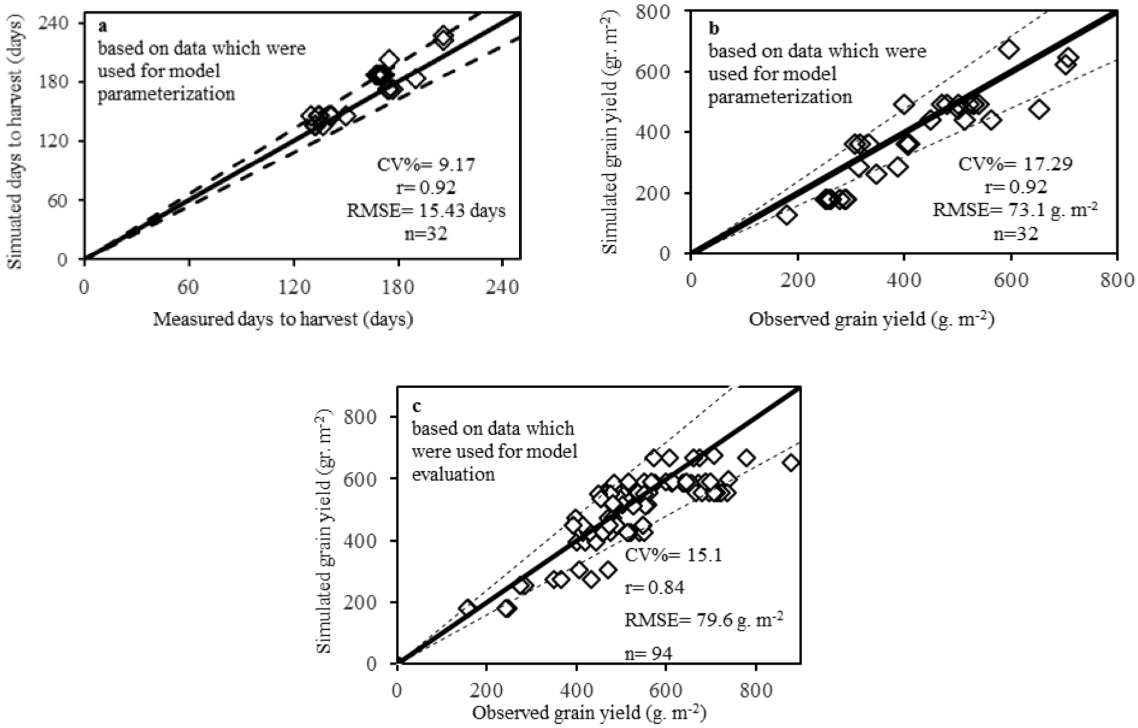
برآورد عملکرد پتانسیل جو آبی در RWSها با استفاده از مدل SSM-iCrop2: برآورد عملکرد پتانسیل با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی کارآمد، اولین گام برای تخمین مقادیر خلأ عملکرد گیاه زراعی جو در مناطق اصلی کشت آبی به‌حساب می‌آید. در این مطالعه از مدل SSM-iCrop2 (نسخه ساده‌تر SSM) برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل جو در نقاط مختلف کشور استفاده شد (Soltani & Sinclair, 2012; Soltani et al., 2013). پارامتریابی و ارزیابی مدل مذکور برای بیش از ۳۰ گیاه زراعی و باغی انجام گرفته است (Soltani et al., 2020). پس از دقت و صحت‌سنجی مدل برای استفاده در نقاط مختلف کشور به‌منظور شبیه‌سازی مقادیر عملکرد و مراحل فنولوژیکی گیاه زراعی جو در هر دو شرایط کشت آبی و دیم (شکل ۲)، از آن برای محاسبه عملکرد پتانسیل در محدوده هر ایستگاه هواشناسی مرجع بر اساس دستورالعمل گیگا استفاده شد (Alasti, 2020). جمع‌آوری اطلاعات مدیریت زراعی، هواشناسی و نوع خاک هر ایستگاه با استفاده از منابع اطلاعاتی مختلف به‌ترتیب شامل متخصصین سازمان جهاد کشاورزی هر استان و کشاورزان محلی، سازمان هواشناسی و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کل کشور و اطلاعات مستخرج از نقشه پروفیل خاک HC-27، برای انجام این مطالعه صورت پذیرفته است. برآورد مقادیر عملکرد پتانسیل در هر RWS برای یک دوره بلندمدت ۱۵ ساله طی سال‌های زراعی ۸۰-۱۳۷۹ تا ۹۴-۱۳۹۳ با استفاده از اطلاعات دریافت شده انجام شد. برای اجرای مدل، اطلاعات مدیریت زراعی شامل تاریخ کاشت، شرایط آبیاری و ارقام گیاه زراعی جو بر اساس شرایط کشت آبی و یا دیم در مدل مشخص می‌شوند.

1- Designated Climate Zone
2-Reference Weather Station
3- Hypothetical RWS (HYP RWS)

جدول ۱- خصوصیات خاک مناطق مختلف ایران بر اساس کد HC27 (Han et al., 2013)

Table 1- Soil grid code characteristics of different locations of Iran based on HC-27 (Han et al., 2013)

کد (بافت، حاصلخیزی و عمق) Code (Texture, Fertility and Depth)	عمق خاک SOLDEP (mm) (Soil Depth)	درصد کربن آلی SOC (Organic Carbon)	عمق لایه اول DEP1 (mm) (Initial Layer Depth)	ضریب آلبیدو SALB (Albedo Coefficient)	شماره منحنی برای محاسبه مقدار رواناب CN (Curve No. for Runoff Calculating)	ضریب زهکشی DRAINF (Drainage Factor)	کسر حجمی رطوبت در زمان اشباع SAT (mm.mm^{-1}) (Volumetric water content at saturation)	کسر حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی DUL (mm.mm^{-1}) (Volumetric water content at drained upper limit)	مقدار آب قابل دسترس EXTR (mm.mm^{-1}) (Volumetric water content available for extraction)	کسر حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (mm.mm^{-1}) LL (Volumetric water content at crop lower limit)
HC2-Clay HF120	1200	>1.2	200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.172	0.233
HC5-Clay MF120	1200	0.7-1.2	200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.172	0.233
HC8-Clay LF120	1200	<0.7	200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.172	0.233
HC11-Loam HF120	1200	>1.2	200	0.1	75	0.5	0.41	0.307	0.127	0.18
HC12-Loam HF060	1200	>1.2	200	0.1	75	0.5	0.41	0.307	0.127	0.18
HC13-Loam MF180	1200	0.7-1.2	200	0.1	75	0.5	0.41	0.307	0.127	0.18
HC14-Loam MF120	1200	0.7-1.2	200	0.1	75	0.5	0.41	0.307	0.127	0.18
HC17-Loam LF120	1200	<0.7	200	0.1	75	0.5	0.41	0.307	0.127	0.18
HC26-Sand LF120	1200	<0.7	200	0.15	65	0.75	0.365	0.169	0.096	0.073



شکل ۱- مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده (a) روز تا رسیدگی برداشت گیاه زراعی جو بر پایه داده‌های مستخرج برای پارامتریابی مدل (Ahmadi et al., 2014; Ansarimaleki et al., 2009; Bagheri et al., 2015; Etesami et al., 2008; Ghaemi & Zamani, 2015; Hosseinpour, 2012; Oraki et al., 2016; Ramezani Etedali et al., 2009; Roshanfekr et al., 2007; Sadeghi & Kazemeini, 2011)؛ (b) عملکرد دانه گیاه زراعی جو بر پایه داده‌های مستخرج برای پارامتریابی؛ (c) عملکرد دانه گیاه زراعی جو بر پایه داده‌های مستخرج مستقل برای ارزیابی مدل SSM-iCrop2 (Alazmani, 2014; Eyvazi, 2014 ; Ghasemi etal., 2004; Hamzei & Seyedi, 2014; Jamshid et al., 2017; Komeili & Sharifi, 2014; Mousavi & Seghatoleslami, 2011; Moosavi et al., 2014; Naghaii & Asgharipour, 2011; Ravari, 2003; Pourmotabbed et al., 2014; Saberi et al., 2014; Saeidi et al., 2013; Shafagh et al., 2015; Shirinzadeh et al., 2013; Tabarzad et al., 2016; Vaezi & Ahmadikhah, 2010; Yousefi Rad et al., 2016)

Fig. 1- Simulated versus observed values for (a) days to harvest maturity of barley based on the extracted reported data for model parameterization; (b) grain yield of barley based on the reported experiments for model parameterization; (c) grain yield of barley based on data of independent experiments that were used for evaluation

خطوط منقطع دامنه۱۰± و ۲۰± درصد به‌ترتیب اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده روز تا رسیدگی برداشت (**a**) و عملکرد دانه (**b** و **c**)را نشان داده شده است. خط ممتد خط ۱:۱ است.

The ±10 and ±20 percent ranges of discrepancy between simulated and observed days to harvest maturity(a) and grain yield (b and c) are indicated by dashed lines, respectively. Solid line is 1:1 line.

محاسبه عملکرد واقعی: برای محاسبه عملکرد واقعی در هر RWS از اطلاعات دریافت شده عملکرد واقعی شهرستانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ از وزارت جهاد کشاورزی و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استفاده گردید. ابتدا فرض بر این شد که عملکرد واقعی تمامی اراضی جو آبی موجود در هر شهرستان برابر با میانگین عملکرد آن شهرستان است. سپس با کمک تابع Zonal statistics as table در نرم‌افزار ArcGIS10.3، شهرستان‌ها و سطح زیر کشت جو در آن‌ها در محدوده هر ایستگاه هواشناسی مرجع مشخص گردید. سپس، از طریق وزن‌دهی به هر شهرستان بر اساس مقادیر سطح زیرکشت آن‌ها، میانگین وزنی عملکرد واقعی محدوده پوشش‌دهنده ایستگاه، به‌عنوان عملکرد واقعی هر RWS تعیین شد (Alasti et al., 2020).

تخمین خلأ عملکرد با استفاده از رویکرد پایین به بالا در کشور: محاسبه خلأ عملکرد در هر ایستگاه مرجع طبق تعریف از اختلاف پتانسیل عملکرد (Y_w یا Y_p) با عملکرد واقعی صورت گرفت. ابتدا عملکرد پتانسیل جو به‌مدت ۱۵ سال زراعی بر اساس خاک‌های غالب در هر ایستگاه هواشناسی مرجع محاسبه شد. با توجه به مساحت اراضی و درصد غالبیت بافت خاک در محدوده هر RWS، با استفاده از رویکرد وزن‌دهی به هرکدام از انواع خاک موجود، میانگین وزنی عملکرد پتانسیل برای شرایط کشت آبی به‌صورت مجزا در هر ایستگاه مرجع محاسبه گردید. سپس بر اساس رویکرد گیگا، نتایج از مقیاس ایستگاه مرجع به مناطق اقلیمی اصلی و سپس به کل کشور تعمیم داده شد. عملکرد قابل حصول (۸۰ درصد عملکرد پتانسیل برآورد شده (Van Ittersum et al., 2013) و خلأ عملکرد قابل مدیریت (اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی) (www.yieldgap.org) جو آبی برای کل کشور نیز بر اساس نتایج برآورد گردید.

نتایج و بحث

مناطق اقلیمی اصلی (DCZs) و ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWSs) کشت جو آبی: بر اساس نتایج به‌دست آمده، اغلب جو آبی در ۱۲ منطقه اقلیمی اصلی در کشور کشت می‌شود (شکل ۲ و جدول ۲). میانگین سطح زیر کشت جو آبی طی بازه سال‌های ۱۳۹۵- ۱۳۹۳ در مناطق اقلیمی اصلی آن ۷۳۴۹۹۳ هکتار می‌باشد. سهم مناطق اقلیمی اصلی انتخابی از کل سطح زیر کشت جو آبی بین ۱/۲۶ تا ۲۱/۷۷ درصد متغیر بوده و در مجموع، ۹۰ درصد آن را پوشش می‌دهد.

بیش از ۹۰ درصد از ایستگاه‌های مرجع انتخابی کشت جو در شرایط آبی بر اساس کد اقلیمی خود در اقلیم‌هایی با متوسط درجه روز رشد (GDD[1])، ۴۰۰۰ (۳۱۷۰-۳۷۹۱ سانتی‌گراد درجه روز)، ۵۰۰۰ (۵۹۴۰ -۴۸۳۰ سانتی‌گراد درجه روز) و ۶۰۰۰ (۷۰۱۱- ۵۹۵۰ سانتی‌گراد درجه روز) قرار گرفته‌اند (جدول ۲). تعداد ۴۸ ایستگاه هواشناسی مرجع بر اساس دستورالعمل گیگا در DCZهای کشت جو آبی انتخاب شدند و از بین ۴۸ ایستگاه انتخابی، ۴۱ ایستگاه مرجع (RWS) و ۷ ایستگاه مرجع فرضی (HYP RWS) بودند (جدول ۳).

1- Growth Degree Days

عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد جو در شرایط کشت آبی طبق دستورالعمل گیگا:

عملکرد واقعی: دامنه عملکرد واقعی طی ۱۵ سال زراعی مذکور برای جو آبی با استفاده از دستورالعمل گیگا بین ۲۳۴۴ و ۳۳۰۴ کیلوگرم در هکتار متغیر و متوسط آن ۳۰۰۹ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین عملکرد واقعی محاسبه شده در ایستگاه شهرضا (شماره ایستگاه ۳۴) با مقدار ۴۲۸۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن در ایستگاه زابل (شماره ۴۰) با مقدار ۱۴۰۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (شکل ۳- a). همچنین دامنه تغییرات عملکردهای واقعی ثبت شده توسط وزارت کشاورزی طی این ۱۵ سال برای جو آبی بین ۲۲۷۸ و ۳۴۵۱ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۲۹۰۷ کیلوگرم در هکتار بوده است. مقایسه بین نتایج عملکرد واقعی حاصل از دستورالعمل گیگا و نتایج گزارش شده عملکرد واقعی توسط وزارت کشاورزی برای جو آبی نشان‌دهنده مقادیر ضریب همبستگی، نشان داد که با استفاده از دستورالعمل مذکور می‌توان با دقت بسیار خوبی عملکرد متوسط جو آبی کشور را محاسبه نمود. بر اساس مطالعات قبلی، مقایسه بین عملکرد واقعی محاسبه شده با استفاده از این دستورالعمل با میانگین عملکرد واقعی گزارش شده در ایران برای سویا (Nehbandani, 2017) و گندم (Zahed, 2018)، سویا، گندم و ذرت در آرژانتین (Aramburu Merlos et al., 2015) و همچنین گندم در استرالیا (Gobbet et al., 2017) نشان‌دهنده توانایی و دقت بالای این دستورالعمل برای محاسبه و تعمیم نتایج در مقیاس کشوری بوده است. لذا نتایج به‌دست آمده حاصل از روش گیگا در محاسبه متوسط عملکرد واقعی گندم در سطح کشور، ادامه کار را برای کاربرد بهینه آن به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل و محاسبه خلأ عملکرد برای مناطق مهم تولید جو آبی تسهیل نمود. میانگین مربعات خطا و ضریب تغییرات به‌ترتیب برابر با ۰/۹۶، ۱۳۳ کیلوگرم در هکتار و ۴/۵۹ درصد بود (شکل ۳- b). نتایج مقایسه با استفاده از پروتکل گیگا، متوسط عملکرد محاسبه عملکردهای واقعی برای مقیاس بالاتر این مطالعه در بین اقلیم‌های اصلی کشت جو آبی کشور نشان داد که کمترین و بیشترین مقادیر به‌ترتیب به مناطق اقلیمی ۴۱۰۲ و ۶۱۰۲ تعلق دارند (جدول ۳).

تعمیم نتایج به مناطق اقلیمی اصلی کشت نشان داد که بیشترین عملکرد واقعی در مناطقی مشاهده می‌شود که دارای کد اقلیمی با

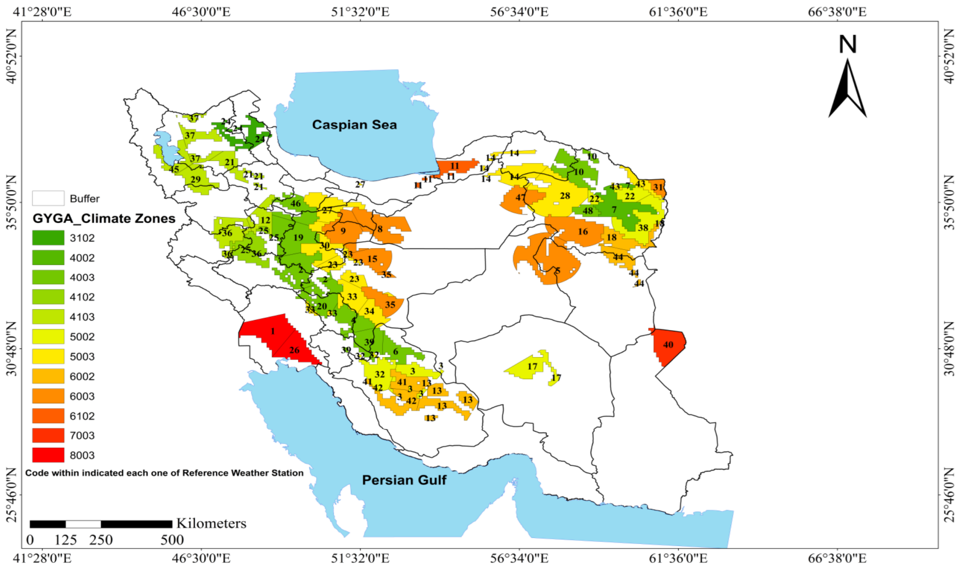
متوسط سالانه درجه روز رشد (GDD) بین محدوده ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ درجه سانتی‌گراد (بر اساس پهنه‌بندی گیگا) می‌باشند (جدول ۳ و شکل ۳ (a)). با افزایش متوسط سالانه درجه روز رشد و گرم‌تر شدن مناطق بر اساس کد اقلیمی تعیین شده، طول دوره رشدی گیاه برای طی کردن مراحل فنولوژیکی به‌صورت خطی روند کاهشی معناداری پیدا می‌کند (شکل ۴- a).

پایین بودن مقادیر عملکرد واقعی در مناطق اقلیمی با متوسط سالانه GDD بیش‌تر از ۶۰۰۰ درجه سانتی‌گراد (شکل ۴–a) می‌تواند ناشی ازکاهش طول دوره رشدی گیاه جو به‌دلیل تأمین سریع‌تر درجه حرارت تجمعی مورد نیاز برای طی‌کردن مراحل مختلف نمو فنولوژیکی و یا مواجهه با تنش گرمایی انتهای فصل رشد (مناطق با GDD بالاتر از ۷۰۰۰ درجه سانتی‌گراد) (شکل ۴- b) در این مناطق باشد (Hughes & Dunn, 1990). با کاهش طول دوره رشد ناشی از افزایش دما در مناطق اقلیمی با GDD بالا، سرعت نمو برای طی کردن فاز انتقال از رشد رویشی به زایشی افزایش پیدا می‌کند. با افزایش سرعت نمو مراحل فنولوژیکی از جوانه‌زنی تا شروع پر شدن دانه‌ها و سپس از پر شدن دانه‌ها تا مرحله رسیدگی، به‌ترتیب تعداد و وزن دانه‌ها کم‌تر می‌شود (Hatfield & Prueger, 2015). روند نزولی عملکرد واقعی به‌صورت معادله درجه دوم با افزایش GDD در مناطق اقلیمی اصلی می‌تواند ناشی از این موضوع باشد ($r = ۰/۸۰$، $p < ۰/۰۱$) (شکل ۴- b). همچنین در ایستگاه مرجع زابل با کد ۴۰ (شکل ۳- a)که نوبت‌های آبیاری به‌علت مشکل کمبود آب کاهش پیدا می‌کند (Ghanbari et al., 2009)، داشتن پایین‌ترین عملکرد واقعی در مقایسه با سایر ایستگاه‌های مرجع انتخابی کشت جو آبی می‌تواند قابل پیش‌بینی باشد. بنابراین، مدیریت زراعی متفاوت می‌تواند بیشترین تأثیر را بر روی حصول عملکردهای واقعی در مناطق مختلف اقلیمی گذاشته و علاوه‌بر عوامل اقلیمی یا ادافیکی باعث اختلاف عملکرد در مناطق مورد مطالعه باشد. برای مثال بررسی انجام شده در ۷۰۰ مزرعه گندم در استان گلستان طی سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ نشان داد که عوامل مدیریتی مانند تاریخ‌های کاشت نامناسب، تراکم‌های نامطلوب، مدیریت ناکارآمد استفاده از کودها و عدم استفاده بهینه از نوبت‌های آبیاری از دلایل اصلی عملکرد واقعی پایین در مزارع کشاورزان بوده است (Hajjarpoor, 2016).

عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد و تولید جو آبی

مقدار متوسط عملکرد پتانسیل در مناطق اصلی تولید جو آبی در کشور در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ برابر ۷۰۹۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (جدول ۳). در این مناطق، دامنه عملکرد پتانسیل بین ۵۰۷۴ کیلوگرم در هکتار در ایستگاه امیدیه (پایگاه) (ایستگاه شماره ۲۶) و ۹۸۳۹ کیلوگرم در هکتار در ایستگاه شهرکرد (شماره ۳۳) متغیر بود (شکل ۵).

تعمیم نتایج به مناطق اقلیمی اصلی کشور نشان داد که بیشترین و کمترین متوسط عملکرد پتانسیل برآورد شده به‌ترتیب به مناطق اقلیمی ۴۱۰۲ (ایستگاه هاشم آباد) و ۸۰۰۳ (ایستگاه‌های اهواز و امیدیه (پایگاه)) تعلق دارند. بررسی بین متوسط سالانه GDD تجمعی با متوسط عملکرد پتانسیل برآورد شده در مناطق اصلی کشت جو آبی کشور بیانگر رابطه معنادار معکوس ($r = ۰/۸۶$ ، $p < ۰/۰۱$) می‌باشد. یعنی با افزایش متوسط دمای تجمعی در هر منطقه اقلیمی، عملکرد پتانسیل کاهش پیدا کرده است (شکل ۶- a). همچنین، با کاهش تعداد روز مورد نیاز برای رسیدن به مرحله رسیدگی برداشت ناشی از افزایش GDD در کدهای اقلیمی تعیین شده نیز عملکرد پتانسیل به‌صورت خطی کاهش معناداری ($r = ۰/۸۸$ ، $p < ۰/۰۱$) پیدا می‌کند (شکل ۶- b). بر اساس نتایج به‌دست آمده، کمترین میانگین عملکرد پتانسیل در اقلیم‌هایی برآورد شد که دارای متوسط سالانه GDD بالاتری بوده و طول دوره رشد گیاه برای طی کردن مراحل فنولوژیکی در آن‌ها کوتاه‌تر می‌باشد. تأثیر طول دوره رشد بر عملکرد پتانسیل می‌تواند ناشی از میزان دریافت تشعشع توسط گیاه برای فتوسنتز و تولید دانه در شرایط پتانسیل باشد. در شرایط بالقوه تولید، مقادیر تشعشع دریافتی اصلی‌ترین عامل تعیین‌کننده در برآورد مقادیر عملکرد گیاه زراعی می‌باشد (van Ittersum et al., 2003). در اقلیم‌های اصلی کشت جو آبی در کشور بین میانگین عملکرد پتانسیل با تشعشع دریافت شده در کل فصل رشد گیاه ارتباط خطی معناداری ($r = ۰/۹۸$، $p < ۰/۰۱$) مشاهده شد (شکل ۶- c). بررسی همبستگی بین میانگین عملکرد پتانسیل با تشعشع دریافت شده و طول دوره رشد نشان‌دهنده ارتباط معنادار این سه مؤلفه با یکدیگر به‌صورت معناداری می‌باشد ($r = ۰/۹۸$، $p < ۰/۰۱$). با افزایش طول دوره رشد و تشعشع دریافت شده، میانگین عملکرد پتانسیل در مناطق اقلیمی انتخابی بیشتر می‌باشد (شکل ۷).



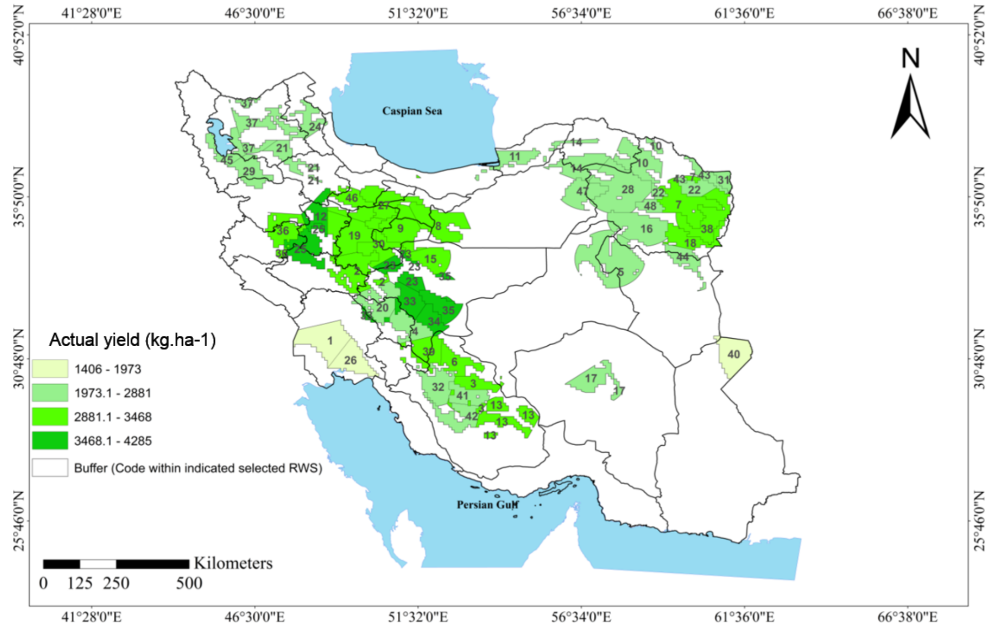
شکل ۲- بافر ایستگاه‌های هواشناسی مرجع در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو آبی ایران طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۳

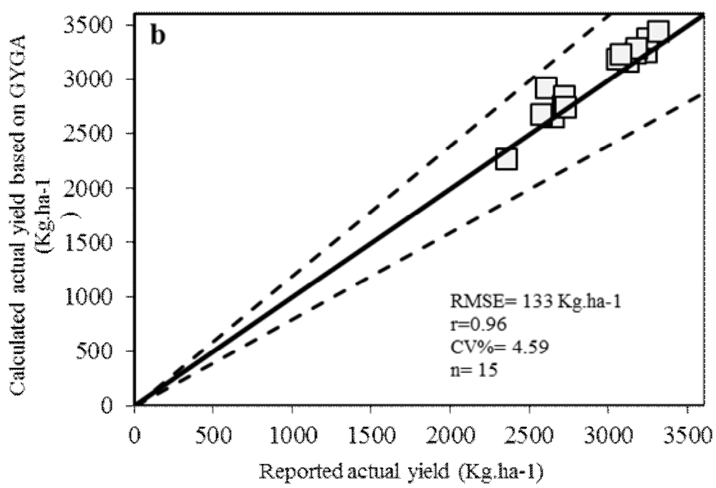
Fig. 2. The buffer of reference weather stations (RWSs) within designated climate zones (DCZs) of irrigated barley harvested areas in Iran during 2014-2016

جدول ۲- مناطق اقلیمی اصلی تولید جو آبی، تعداد ایستگاه‌های مرجع (RWS) و مقادیر سطح زیرکشت (هکتار) در هر منطقه اقلیمی و درصد سهم هر یک از آن‌ها از کل اراضی کشت جو آبی (۷۳۴۹۹۳ هکتار) کشور طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۳

Table 2- Designated climate zones (DCZ) in irrigated barley production areas, the Numbers of Reference Weather Stations (RWSs) and the values of harvested area (ha) in each climate zone, the percentage of total national irrigated (734993 ha) harvested area in the DCZs during 2014-2016

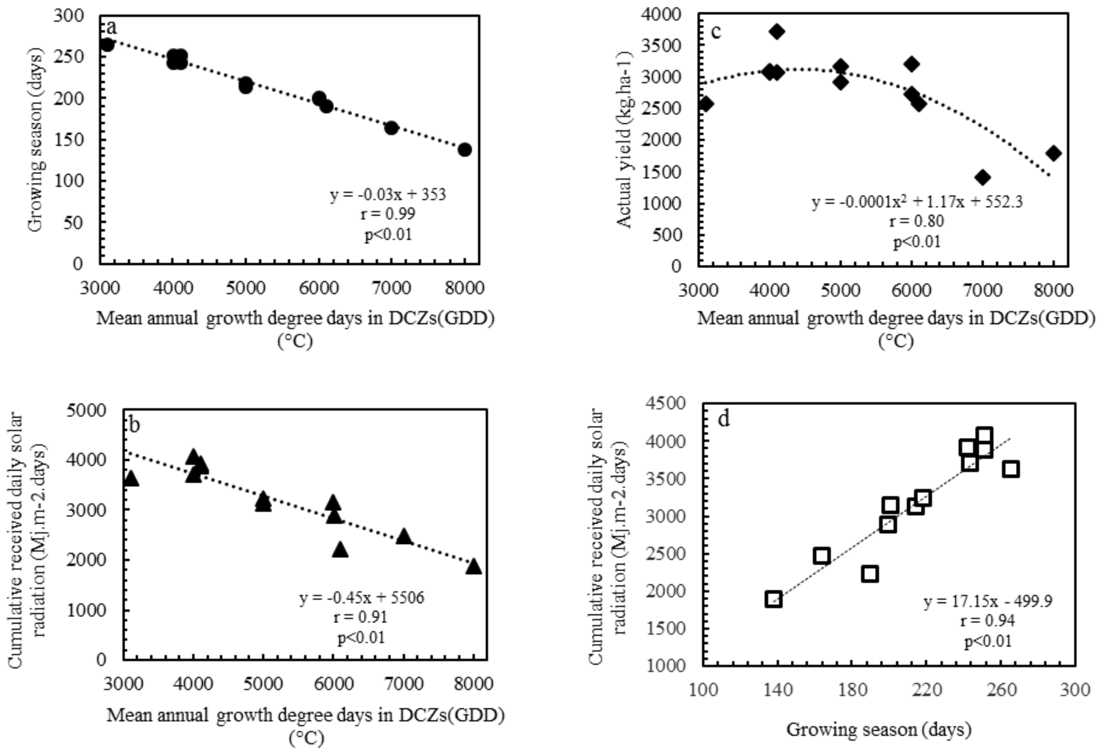
کد اقلیمی Climate zone code	سطح زیرکشت در اقلیم جو آبی The harvested area in each DCZ (ha)	تعداد RWS در منطقه اقلیمی کشت جو آبی The number of RWSs in each DCZ of irrigated barley harvested area	نسبت سطح زیر کشت جو آبی در هر اقلیم به کل کشور The percentage of irrigated barley harvested area in each DCZ to total national irrigated barley harvested area (%)
3102	18684	1	2.54%
4002	19582	1	2.66%
4003	108059	9	14.70%
4102	27223	1	3.70%
4103	43060	6	5.86%
5002	71515	5	9.73%
5003	160023	8	21.77%
6002	42465	5	5.78%
6003	118489	8	16.12%
6102	12648	1	1.72%
7003	9262	1	1.26%
8003	27908	2	3.80%
جمع SUM	658918	48	**90%**





شکل ۳- عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) جو آبی در ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (a) (برای نام ایستگاه‌ها به‌همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول ۳ مراجعه شود)؛ میانگین عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) ثبت شده توسط سازمان جهاد کشاورزی در مقابل عملکرد واقعی محاسبه‌شده توسط دستورالعمل گیگا طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹٤ برای گیاه زراعی جو آبی در سطح کشور (b) (خط ۱:۱ و خطوط ۲۰± درصد اختلاف (نقطه چین) در شکل نشان داده شده‌اند.)

Fig. 3- Irrigated barley actual yield (kg.ha^{-1}) in Reference weather stations (RWSs) (the name of the RWSs which were identified as a No. in the map, is located in table (3) (a); the average actual yield (kg.ha^{-1}) of the country reported by Ministry of Agriculture versus the actual yield of the country calculated by the GYGA method for irrigated barley. Time period is 2000 to 2014. (The ±20% discrepancy lines are indicated by dashed lines. Solid line is1:1 line (b))



شکل ٤- ارتباط بین میانگین سالانه درجه روز رشد (°C) (GGD) در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو آبی با طول دوره رشد (a)؛ کل تشعشع دریافتی تجمعی طی دوره رشد ($Mj.m^{-2}.day^{-1}$) (b)؛ عملکرد واقعی ($Kg.ha^{-1}$) (c) و رابطه بین طول دوره رشد و کل تشعشع دریافتی تجمعی طی دوره رشد در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو آبی

Fig. 4- Relationship between mean annual Growth Degree Day (GDD) in designated climate Zones (DCZs) and growing season (day) (a); Cumulative received daily solar radiation during growing season ($Mj.m^{-2}.day^{-1}$); actual yield ($kg.ha^{-1}$) and the relationship between growing season and Cumulative received daily solar radiation in DCZs of irrigated barley harvested areas

پراکنش ایستگاه‌های مرجع با بیشترین میزان عملکرد پتانسیل در بین ایستگاه‌های انتخابی اغلب متمایل به‌سمت شمال غربی و غرب کشور (مانند ایستگاه ارومیه، شهرکرد، الیگودرز و سقز) بود، در حالی‌که کمترین عملکرد پتانسیل در ایستگاه‌های واقع در جنوب و جنوب غربی کشور (امیدیه (پایگاه) و اهواز) یعنی مناطق اقلیمی با GDD بیشتر از ۸۰۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۳). در مناطق اقلیمی گرم‌تر که دارای متوسط سالانه GDD بالاتری هستند، مراحل فنولوژیکی گیاه به‌دلیل تأمین سریع‌تر نیاز حرارتی زودتر حادث می‌شوند که می‌تواند زمان طی شدن مراحل مهم تولید در گیاه مثل طول دوره پر شدن دانه را کاهش دهد (طول دوره پر شدن دانه در منطقه اقلیمی ۸۰۰۳ حدود ۱۰ درصد کم‌تر از میانگین کل مناطق اقلیمی اصلی بود). همچنین دریافت میزان کم‌تر تشعشع در این منطقه اقلیمی در مقایسه با مناطق دیگر (میزان دریافت تشعشع تجمعی طی فصل رشد در منطقه اقلیمی ۸۰۰۳ حدود ۴۰ درصد از میانگین کل در مناطق اقلیمی تعیین‌شده کم‌تر بود)، دلیل دیگری بر عملکرد پتانسیل برآورد شده پایین آن‌ها است.

میانگین مقدار خلأ عملکرد جو آبی در کشور برای دوره زمانی مذکور برابر ۴۰۸۱ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد (جدول ۳). بیشترین مقدار خلأ عملکرد ۶۲۰۹ کیلوگرم در هکتار در ایستگاه سقز (شماره ایستگاه ۲۹) و کمترین در ایستگاه سرخس (شماره ایستگاه ۳۱) با مقدار ۲۸۴۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (شکل ۸). خلأ عملکرد محاسبه‌شده در مناطق مختلف از نظر مقدار دارای اختلاف زیادی می‌باشند که دلیل آن را می‌توان تماماً ناشی از مدیریت تولید

متفاوت در هر منطقه دانست. مقدار عملکرد نسبی (درصد) (نسبت عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل) در اقلیم‌های اصلی تعیین‌شده بین ۲۴ تا ۵۰ درصد با میانگین ۴۲ درصد برای جو آبی در کشور برآورد گردید، که نشان‌دهنده ۵۸ درصد خلأ عملکرد جو آبی در کشور بود (جدول ۳). یکی از دلایل تغییرات خلأ عملکرد طی شرایط پتانسیل در نقاط مختلف کشور اغلب به عملکردهای واقعی گزارش‌شده پایین در سطح مزارع کشاورزان ارتباط پیدا می‌کند. با بهبود مسائل مدیریت زراعی در هر منطقه می‌توان خلأ عملکرد موجود برای گیاهان زراعی مختلف را طی شرایط کشت آبی محصولات زراعی کاهش داد. برای رسیدن به ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل (عملکرد قابل حصول) در سطح مزارع جو آبی، مقدار عملکرد واقعی باید از میانگین ۳۰۰۹ به ۵۶۷۲ کیلوگرم در هکتار در سطح کشور برسد تا ۴۷ درصد خلأ عملکرد موجود طی این شرایط قابل مدیریت باشد.

بر اساس سطح زیر کشت مناطق اقلیمی اصلی (جدول ۳) و تعمیم نتایج به کل کشور، میانگین مقادیر تولید واقعی و خلأ تولید به‌ترتیب حدود ۲/۲۱ و ۲/۹۹ میلیون تن برآورد شده است. مقادیر متوسط پتانسیل تولید در ۱۲ منطقه اقلیمی انتخاب‌شده بین ۵۴ هزار تن (منطقه اقلیمی ۷۰۰۳) تا ۱/۱۱ میلیون تن (منطقه اقلیمی ۵۰۰۳) برآورد شده است. همچنین، بیشترین و کمترین میزان خلأ تولید به‌ترتیب در مناطق اقلیمی ۵۰۰۳ با متوسط ۰/۶ میلیون تن و ۶۱۰۲ با متوسط ۴۰ هزار تن در سال مشاهده می‌شود. طبق محاسبات صورت گرفته بر پایه تولید واقعی و پتانسیل، متوسط میزان درصد خلأ تولید جو آبی در مناطق اقلیمی مذکور بین ۵۰ تا ۷۶ با متوسط ۵۸ درصد متغیر می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده، با انجام مدیریت زراعی مناسب می‌توان با رسیدن به مقدار قابل حصول تولید در کشور یعنی حدود ۴/۱۷ میلیون تن، تقریباً ۱/۹۵ میلیون تن خلأ قابل مدیریت (حاصل اختلاف تولید واقعی از تولید قابل حصول) را جبران نمود و کشور را به سطح خودکفایی در تولید این محصول مهم زراعی نزدیک‌تر کرد. بررسی میزان خلأ عملکرد گیاهان زراعی مهم در نقاط مختلف دنیا می‌تواند به شناخت بهتر وضعیت تولید در کشور کمک کند.

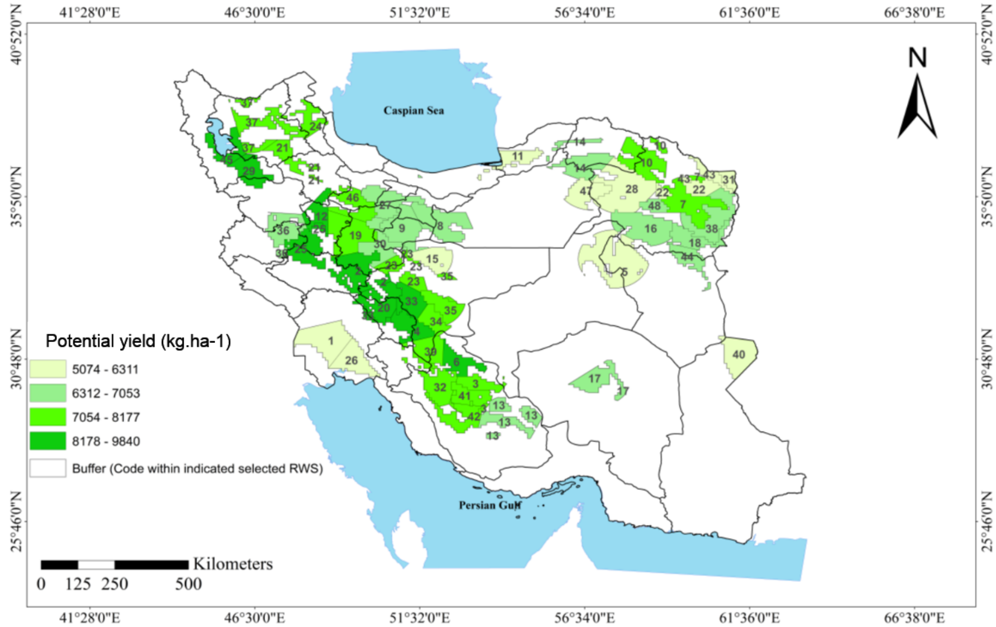
محاسبه عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد گندم در شمال چین نشان داد که با در نظر گرفتن امکان دستیابی به ۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل، میانگین عملکرد واقعی در این منطقه را می‌توان به‌میزان یک تن در هکتار یا ۱۸ درصد افزایش داد (Lu & Fan, 2013).

همچنین، عملکرد پتانسیل ذرت طی شرایط تشعشع محدود (Yp) و آب محدود (Yw) در چهار منطقه اقلیمی اصلی کشور چین به‌ترتیب ۱۴/۲ و ۱۰/۷ تن در هکتار برآورد شده است. میزان خلأ عملکرد (درصد) در این منطقه در شرایط کشت آبی و دیم ذرت به‌ترتیب ۴۲ و ۳۵ درصد محاسبه شده است. نتایج آن‌ها مواجهه با دماهای پایین و دریافت تشعشع خورشیدی کم‌تر در طول دوره رشد را از عوامل کاهش عملکرد نسبی ذرت گزارش نموده‌اند (Liu et al., 2017). طی بررسی دیگری مقدار خلأ عملکرد گندم در آلمان حدود ۱/۹ تن در هکتار معادل ۲۰ درصد خلأ برآورد شده است که نشان‌دهنده عملکرد واقعی بالا (بیش‌تر از ۷/۵ تن در هکتار) در این کشور می‌باشد (Van Wart et al., 2013).

در مطالعه دیگر با استفاده از مدل WOFOST و دستورالعمل گیگا عملکرد پتانسیل (Yp) و عملکرد پتانسیل در شرایط آب محدود گندم در کشور رومانی دارای تنوع اقلیمی بالا (حدود ۲۶ منطقه اقلیمی مختلف) برآورد شده است (Knol, 2016). نتایج این مطالعه نشان داد که متوسط پتانسیل عملکرد طی نه سال زراعی در سطح اقلیم‌های اصلی انتخابی حدود ۶۹۰۰ تا ۸۰۰۰ در **هکتار و عملکرد پتانسیل آب محدود بین ۵۷۰۰ تا ۷۱۲۸ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین خلأ عملکرد بین ۳۵ تا ۷۰ درصد در این منطقه برآورد شده است.**

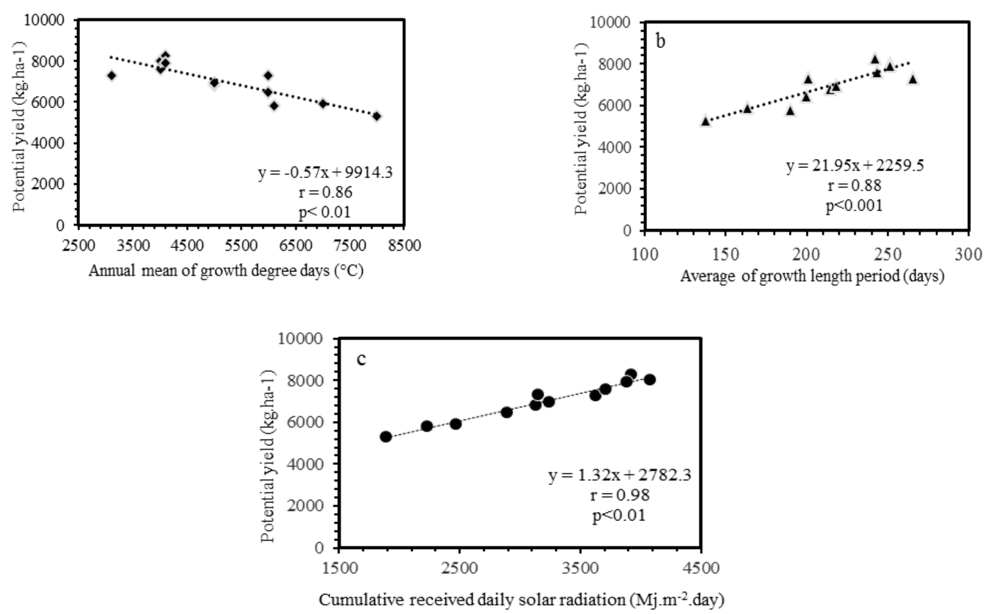
نتایج محاسبه خلأ عملکرد گندم در ایران نشان می‌دهد که متوسط مقادیر در محدوده ۱۶۴۶ تا ۴۴۷۰ کیلوگرم در هکتار (بین ۲۹ تا ۵۸ درصد خلأ عملکرد) متغیر می‌باشد. در این مطالعه، بین عوامل اقلیمی، اثر بارندگی و تشعشع بر عملکرد پتانسیل گندم مثبت و اثر دما منفی بود. در بین این متغیرها نیز بارندگی بیشترین تأثیر را بر عملکرد پتانسیل گندم داشت (Koocheki et al., 2017).

همچنین، نتایج حاصل از مطالعه بر اساس دستورالعمل گیگا نشان داد که پتانسیل عملکرد برآورد شده گندم آبی در ایران به طور میانگین ۸۸۲۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، در حالی‌که عملکرد واقعی محاسبه شده ۳۳۷۸ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین، **مقدار** خلأ عملکرد گندم آبی به طور متوسط ۵۴۴۳ کیلوگرم در هکتار برای ایران برآورد شده است.



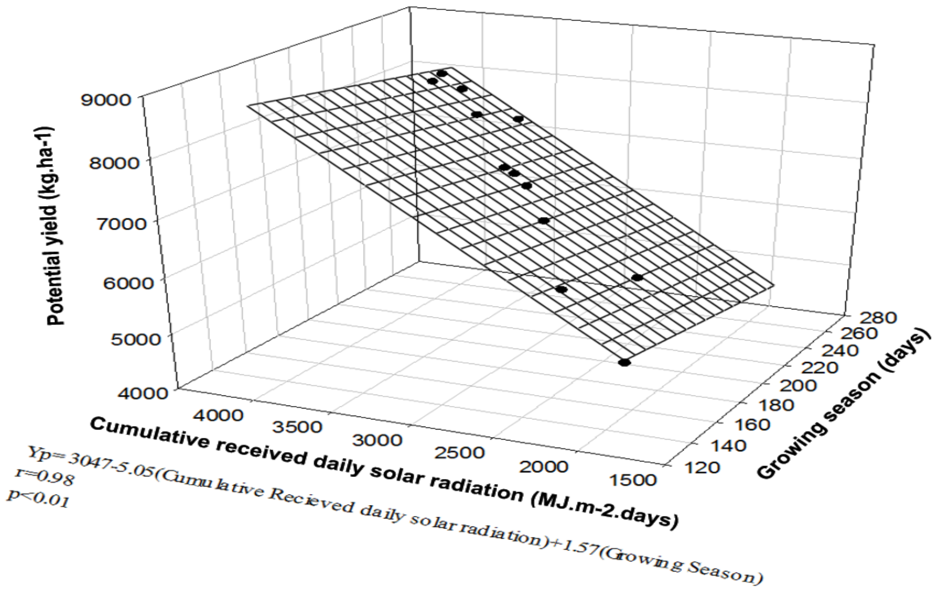
شکل ۵- نقشه پتانسیل عملکرد در ایستگاه‌های هواشناسی مرجع کشت جو آبی کشور (برای نام ایستگاه‌ها به همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول ۳ مراجعه شود).

Fig. 5. Potential yield (kg.ha^{-1}) in the Reference weather stations (RWSs) of irrigated harvested areas (the name of the RWSs which were identified as a No. in the map, is located in table (3).



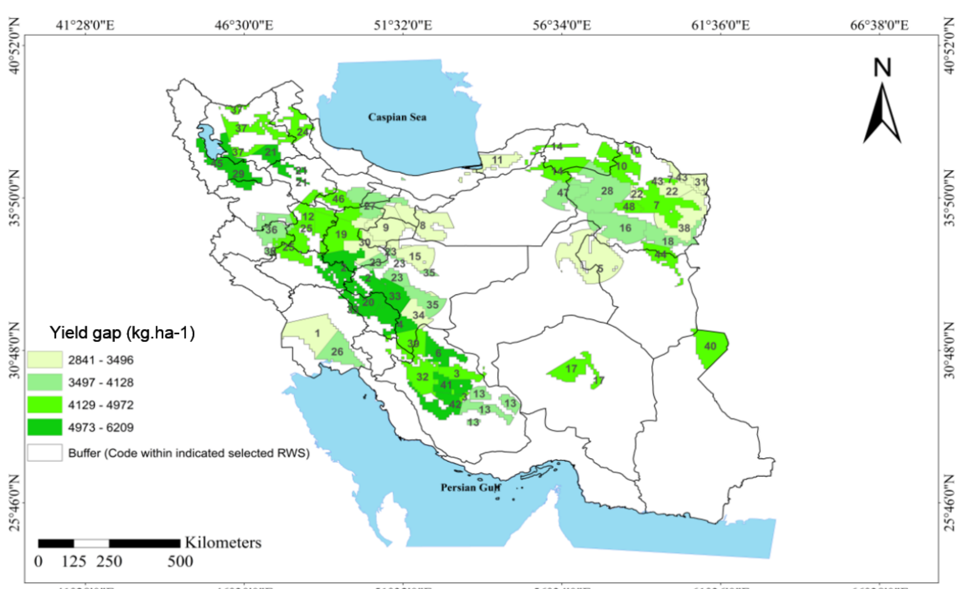
شکل ٦- ارتباط بین مقدار عملکرد پتانسیل با میانگین سالانه درجه روز رشد (درجه سانتی‌گراد) (a) ، میانگین تعداد روز تا رسیدگی برداشت (b) و میانگین تابش دریافت شده تجمعی (مگاژول بر مترمربع در روز) طی دوره رشد (c) در اقلیم‌های اصلی کشت جو آبی کشور

Fig. 6- Relationship between Potential yield values and mean annual growth degree day °C (GDD) (a); average of growth length period (b) and cumulative received daily solar radiation ($MJ.m^{-2}.day$) in DCZs of cultivated barley of Iran



شکل ۷- ارتباط بین تغییرات میانگین عملکرد پتانسیل (کیلوگرم در هکتار) با طول دوره رشد (روز) و میانگین کل تابش دریافت شده تجمعی (مگاژول بر مترمربع در روز) طی دوره رشد در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو آبی کشور

Fig. 7- Relationship between average potential yield values, growing season (day) and cumulative received daily solar radiation ($MJ.m^{-2}.day$) in DCZs of cultivated irrigated barley of Iran



شکل ۸- نقشه خلأ عملکرد (کیلوگرم در هکتار) جو آبی در ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی کشور (برای نام ایستگاه‌ها به‌همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول ۳ مراجعه شود

Fig. 8- Irrigated barley yield gap ($kg.ha^{-1}$) in Reference weather stations (RWSs) (the name of the RWSs which were identified as a No. in the map, is located in table (3)

به عبارت دیگر حدود ۶۲ درصد خلأ عملکرد در مزارع گندم آبی در کشور مشاهده گردید (Zahed, 2018). با وجود اهمیت زیاد جو در کشور، اما هنوز در مقیاس منطقه ایران گزارش جامعی از مقادیر خلأ عملکرد موجود در زمین‌های زراعی برای مقایسه با نتایج حاضر ارائه نشده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که جو آبی به‌طور عمده در ۱۲ منطقه اقلیمی تولید می‌شود. در این ۱۲ منطقه ۴۸ ایستگاه مرجع برای زمین‌های زیر کشت آن وجود دارد. این مناطق اقلیمی ۹۰ درصد کل اراضی سطح زیر کشت جو آبی کشور را پوشش می‌دهند. دامنه میانگین عملکردهای واقعی محاسبه شده در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو آبی به‌ترتیب بین محدوده ۱۴۰۶ تا ۳۷۲۳ کیلوگرم در هکتار متغیر بوده و میانگین آن ۳۰۰۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. مقادیر عملکرد پتانسیل در این مناطق بین ۵۲۸۳ تا ۸۲۸۶ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۷۰۹۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو آبی بین ۳۲۳۷ تا ۴۹۶۷ کیلوگرم در هکتار یعنی بین ۵۰ تا ۷۶ درصد خلأ و به‌صورت میانگین ۴۰۸۱ کیلوگرم در هکتار معادل ۵۸ درصد خلأ عملکرد مشاهده شد. یعنی کشاورزان در این مناطق فقط به ۲۴ تا ۵۰ درصد پتانسیل عملکرد خود دست پیدا می کنند. با در نظر گرفتن عملکرد قابل حصول به‌عنوان عملکرد هدف ، بین۱۹۹۶ تا ۳۳۸۱ و به‌طور متوسط ۲۶۶۳ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد قابل مدیریت (exploitable yield gap) برای جو آبی وجود دارد. در صورت رفع ۸۰ درصد از خلأ موجود در کشور کل تولید جو آبی را از حدود ۲/۲۱ میلیون تن به‌حدود ۴/۱۷ میلیون تن رسانده و در نتیجه، با افزایش تولید معادل حدود ۴۹۰ میلیون دلار در واردات دانه جو صرفه‌جویی کرده و در امر تولید آن در کشور خودکفا شد.

سپاسگزاری

از سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی کشور که در ارائه اطلاعات و داده‌های لازم برای انجام این مطالعه همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

Ahmadi, A., Hosseinpour, T., and Soltani, M., 2014. Effects of seed density on the yield and its components of three genotypes of rainfed barley. Agronomy Journal 102: 131-140. (In Persian with English Summary)

Alazmani, A., 2014. Effect of nitrogen fertilizer on feed and grain yield of barley cultivar. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 8(11): 2013-2015.

Alasti, O., 2011. The accuracy of forecasting wheat yield in Mashhad conditions using CERES-Wheat model and simulated radiation. M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Alasti, O., 2020. Modeling potential production and gap production of barley under current and future climates of Iran. PhD Desertation. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural, Gorgan, Iran.

Alasti O., Zeinali, E., Soltani, A., Torabi, B., 2020. Estimation of yield gap and the potential of rainfed barley production increase in Iran. Journsl of Crop Production 13(3): 41–60.

Anderson, W., Johansen, C., and Siddique, K.H.M., 2016. Addressing the yield gap in rainfed crops: A review. Agronomy for Sustainable Development 36(1): 1–13.

Ansari Maleki, Y., Jafarzadeh, J., Vaezi, B., Hosseinpour, T., and Ghasemi, M., 2009. Study on adaptability and grain yield stability of barley genotypes in warm rainfed areas. Seed and Plant Breeding 25(1): 297-313. (In Persian with English Summary)

Aramburu Merlos, F., Monzon, J.P., Mercau, J.L., Taboada, M., Andrade, F.H., Hall, A.J., Jobbagy, E., Cassman, K.G., and Grassini, P., 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. Field Crops Research 184: 145–154.

ArcGIS [GIS software]., 2014. Version 10.3, Environmental Systems Research Institute, Inc. CA.

Bagheri, H., Jamshidi, S., and Andalibi, B., 2015. Comparison of agronomic characteristics of promising dryland barley genotypes with a conventional cultıvar in Miyaneh region. Journal of Crop Production and Processing 4(14): 63-76.

Boogaard, H., Wolf, J., Supit, I., Niemeyer, S., and van Ittersum, M., 2013. A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. Field Crops Research 143: 130–142.

Cuesta-Marcos, A., Kling, J.G., Belcher, A.R., Filichkin, T., Fisk, S.P., Graebner, R., Helgerson, L., Herb, D., Meints, B., Ross, A.S., Hayes, P.M., and Ulrich, S.E., 2015. Barley: Genetics and Breeding, In: Encyclopedia of Food Grains: Second Edition. Elsevier, pp. 287–295.

Deng, N., Grassini, P., Yang, H., Huang, J., Cassman, K.G., and Peng, S., 2019. Closing yield gaps for rice self-sufficiency in China. Nature Communications 10 (1725):1-9.

Etesami, M., Galeshi, S., Soltani, A., and Nooriani, A., 2008. Investigation of changes harvest index, yield and grain yield components in modern and old barley genotype. (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 15(5): 19-25. (In Persian with English Summary)

Eyvazi, A.R., 2014. Effect of sowing date on resistance to chilling stress in winter and spring genotypes of barley. Journal of Crop Production and Processing 4(13): 281-294. (In Persian with English Summary)

Food and Agriculture Organization (FAO)., 2018. The FAOSTAT Database. Available at Web site http://faostat.fao.org/default.aspx (verified September 2019)

Ghaemi, A.A., and Zamani, B., 2015. Effect of different level of water stress and nitrogen fertilizer on yield and yield components of barley in Badjgah (Fars province). Journal of Water and Soil 29(4): 954-965. (In Persian with English Summary)

Ghanabari, A., Karbasi, A.R., Ahmadian, A., and Ghasemi, H., 2009. A Perspective Toward Water Crisis Management in Sistan, the Barriers and Solutions. 1th International Conference of Water Crisis.

Ghasemi, M., Vahabzadeh, M., Khalilzadeh, G., Gharib Eshghi, A., 2004. Study on grain yield, yield components and green fodder of triticale and barley cultivars. Seed and plant 20(3): 345-357. (In Persian with English Summary)

Gobbett, D.L., Hochman, Z., Horan, H., Navarro Carcia, J., Grassini, P., and Cassman, K.G., 2016. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. The Journal of Agricultural 115(2): 282-299.

Grassini, P., Cassman, K.G., and Van Ittersum, M., 2017. Exploring maize intensification with the Global Yield Gap Atlas. Better Crop. with Plant Food 101(2): 7–9.

Hajjarpoor, A., 2016. Evaluation of wheat yield gap in Golestan province. Ph.D. Dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Seyedi, M., 2014. Responses of soil bulk density, some of agronomic characteristics and yield of rainfed barled to the various methods of tillages in Hamedan region. Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 18(70): 147-156. (In Persian with English Summary)

Han, E., Ines, A., and Koo, J., 2015. Global High-Resolution Soil Profile Database for Crop Modeling Applications. Harvard Dataverse, V1.

HarvestChoice., 2014. Crop Production: SPAM. International Food Policy Research Institute, Washington, DC., and University of Minnesota, St. Paul, MN. Available online at http://harvestchoice.org/node/9716.

Hatfield, J.L., and Prueger, J. H., 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes 10:4-10.

Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., van Rees, H., Marinoni, O., Garcia, J.N., and Horan, H., 2012. Quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia. Field Crops Research 136: 85–96.

Hosseinpour, T., 2012. Relationship among agronomic characteristics and grain yield in hull-less barley genotypes under rainfed conditions of Koohdasht. Iranian Journal of Crop Sciences 14(3): 263-279. (In Persian with English Summary)

http://www.fas.usda.gov/psdonline/ (Verified June 2019)

http://www.yieldgap.org/web/guest/download_data (verified June 2017)

Hughes, M.A., and Dunn, M.A., 1990. The effect of temperature on plant growth and development. Biotechnology and Genetic Engineering Reviews 8:161-188.

Jamshidi, A., and Javanmard., H.R., 2017. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes for salinity tolerance under field conditions using the stress indices. Ain Shams Engineering Journal 9(4): 2093-2099.

Jenab, M and Nazari, B., 2019. The study of water productivity and yield gap of wheat, barley and maize in Qazvin province. Iranian Journal of Soil and Water Research 49(6): 1405-1417.

Kamali, G.A., and Moradi, E., 2005. Solar radiation (Fundamentals and applications in agriculture and renewable energy). 20th Century Publisher, Tehran. p. 299.

Knol, R., 2016. Yield gap analysis of cereals in Romania: Causes and mitigation options. M.Sc. Thesis Plant Science. Plant Production Systems Department. Wageningen University. Netherland.

Komeili, R., and Sharafi, S., 2014. Evaluation of promising barley lines under normal and drought stress in farmer conditions. Crop Science Research in Arid Regions 2(2):119-132. (In Persian with English Summary)

Koo, J., and Dimes, J., 2010. HC27 Generic Soil Profile Database. Int. Food Policy Res.25 Inst. Washington, DC.

Koocheki, A., Nassiri, M.M., Mansoori, H., and Moradi, R., 2017. Effect of climate and management factors on potential and gap of wheat yield in Iran with using WOFOST model. Iranian Journal of Field Crops Research 15(2): 244-256. (In Persian with English Summary)

Liu, B., Chen, X., Meng, Q., Yang, H., and Van Wart, J., 2017. Estimating maize yield potential and yield gap with agro-climatic zones in China—Distinguish irrigated and rainfed conditions. Agricultural and Forest Meteorology 239: 108–117.

Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B., 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annual Review of Environment and Resources 34(1): 179.

Lu, C., and Fan, L., 2013. Winter wheat yield potentials and yield gaps in the North China Plain. Field Crops Research 143:98-105.

Moosavi, S.S., Zahedi-No, M., Chaichi, M., and Abdollahi, M.R., 2014. Assessment of diversity and identifying of effective traits on grain yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) under non-stress and terminal moisture stress conditions. Cereal Researches 4(2): 155-173. (In Persian with English Summary)

Mousavi, S.G.R., and Seghatoleslami, M.J., 2011. Effect of different chemical and bio-fertilizers on morphological traits, yield and yield components of barley. Advances in Environmental Biology 5(10): 3312-3317.

Naghaii, V., and Asgharipour, M.R., 2011. Difference in drought stress responses of 20 barley genotypes with contrasting drought tolerance during grain filling. Advances in Environmental Biology 5(9): 3042-3049.

Nehbandani, A.R., 2018. Evaluation of soybean yield gap in Iran. Ph.D. Dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian with English Summary)

Oraki, A., Siahpoosh, MR., Rahnama, A., and Lakzadeh, I., 2016. The effects of terminal heat stress on yield, yield components and some morpho-phenological traits of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) in Ahvaz weather conditions. Iranian Electronic Journal of Crop Production 47(1): 29-40. (In Persian with English Summary)

Paulescu, M., Stefu, N., Calinoiu, D., Paulescu, E., Pop, N., Boata, R., and Mares, O., 2016. Ångström–Prescott equation: Physical basis, empirical models and sensitivity analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews 62: 495–506.

Pourmotabbed, MR., Farnia, A., and Fard Alishir, N., 2014. Effect of planting date on ecophysiological and morphological characteristics of lines and varieties of barley in different regions of Kermanshah. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 5(2): 572-577.

Ramezani Etedali, H., Nazari, B., Tavakoli, A., and Parsinejad, M., 2009. Evaluation of CROPWAT model in deficit irrigation management of wheat and barley in Karaj. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology) 23(1):119-129. (In Persian with English Summary)

Ravari, S.Z., 2003. Effects of sowing date on yield of some barley advanced lines and cultivars. Seed and Plant. 19(3): 401-411. (In Persian with English Summary)

Roozitalab, M.H., Siadat, H., and Farshad, H., 2018. The Soils of Iran. Springer International Publishing. p. 255.

Roshanfekr, H.A., Meskarbashi, M., Kashani, A. 2008. Evaluation of the agronomic traits and yield of hulless barley genotypes in Ahvaz. The Scientific Journal of Agriculture. 4(1): 9-23. (In Persian with English Summary)

Saberi, M.H., Nikkhah, H.R., Tajali, H., and Arazmjo, E., 2014. Effects of terminal season drought stress on yield and choosing best tolerance indices in promising lines of Barley. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 107: 124-132. (In Persian with English Summary)

Sadeghi, H., and Kazemeini, A.R., 2011. Effect of crop residue management and nitrogen fertilizer on grain yield and yield components of two barley cultivars under dryland conditions. Iranian Journal of Crop Science 13(3): 436-451. (In Persian with English Summary)

Saeedi, M., and Azhand, M., 2014. Effect of photosynthesis resources constraint and water-deficit stress after flowering on the grain yield and gas exchanges in various genotypes of barley. Journal of Crop Improvement 16(4): 840-856. (In Persian with English Summary)

Saeidi, M., Abdoli, M., Azhand, M., and Khas-Amiri, M., 2013. Evaluation of drought resistance of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars using agronomic characteristics and drought tolerance indices. Albanian Journal of Agricultural Sciences 12(4): 545-554.

Shafagh-Kolvanagh, J., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S., Hashemi-Amidi, N., and Dastborhan, S., 2015. Evaluation

of yield and protein content of barley grain in response to nitrogen and weeds interference. Journal of Agricultural Science 25(4): 120-134.

Shirinzadeh, A., Soleimanzadeh, A., and Shirinzadeh, Z., 2013. Effect of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on agronomic traits and yield of barley cultivars. World Applied Sciences Journal 21(5): 727-731.

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., Hosseini, R.S., Zahed, M., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Kamari, H., Fayazi, H., Mohammadi, S., Keramat, S., Vadez, V., Van Ittersum, M.K., and Sinclair, T.R., 2020. SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. Agricultural Systems 182: 102855.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CAB International, Wallingford, UK.

Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R., 2013. SSM-Wheat, a simulation model for wheat development, growth and yield. International Journal of Plant Production 7(4): 711- 740.

Tabarzad, A., Ghaemi, A.A., and Zand-Parsa, S., 2016. Barley grain yield and protein content response to deficit irrigation and sowing dates in semi-arid region. Modern Applied Science 10(10): 193-207.

Vaezi, B., and Ahmadikhah, A., 2010. Evaluation of drought tolerance of twelve improved barley genotypes in dry and warm condition. Journal of Plant Production 17(1): 23-44.

Van Bussel, L.G.J., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., and Van Ittersum, M.K., 2015. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. Field Crops Research 177: 98–108.

Van Ittersum, M.K., Howden, S.M., and Asseng, S., 2003. Sensitivity of productivity and deep drainage of wheat cropping systems in a Mediterranean environment to changes in CO2, temperature and precipitation. Agriculture, Ecosystems and Environment 97(1): 255–273.

Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., and Hochman, Z., 2013. Field crops research yield gap analysis with local to global relevance — A review. Field Crops Research 143: 4–17.

Van Wart, J., van Bussel, L.G. J., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Mueller, N. D., Claessens, L., van Ittersum, M. K., and Cassman, K.G., 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. Field Crops Research 143: 44–55.

Yousefi Rad, M., Asghari, M., Mohammadi, M., and Masoumi Zavarian, A., 2016. Effect of drought stress on yield, yield components and some physiological characteristics of seven barley varieties. Journal of Crop Improvement. 7(4): 297-308. (In Persian with English Summary)

Zahed, M., 2018. Modeling the production and yield gap of wheat in Iran. Ph.D. Dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.2, Summer 2021, p. 325-344

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۳۴۴-۳۲۵

Estimating the Potential Increase of Irrigated Barley Production over Iran via Closure of Yield Gap Based on GYGA Protocol

O. Alasti[1], E. Zeinali[2*], A. Soltani[3] and B. Torabi[2]
Submitted: 10-07-2019
Accepted: 23-08-2020

Alasti, O., Zeinali, E., Soltani A., and Torabi, B., 2021. Estimating the potential increase of irrigated barley production over Iran via closure of yield gap based on GYGA protocol. Journal of Agroecology 13(1):325-344.

Introduction

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is considered as the second most important grain crop after wheat, due to 1.75 million hectares harvested areas and 3.2 million tons' production in Iran. The irrigated fields are contributed up to 45% of total barley harvested areas (equivalent to 1.7 million ha) and 70% of total barley production (equivalent to 2.2 million tons). Based on the statistics reported in recent years, about 2.5 million tons of barley imported from other countries. According to the impossibility of extending the barley cultivated areas and even the necessity of reducing fields in some parts of the country, increasing productivity per unit area of cultivated lands is recognized as the only practical way to boost the production of barley in Iran. In this regard, this study was conducted to estimate barley yield gap (Y_g) and the potential of increasing barley production in irrigated condition as the first step to promote the yield and production of barley over the country.

Materials and Methods

Firstly, the main production zones of barley are determined; the zones which were contributed in more than 85% of barley production. The Designated climatic zones (DCZs) were identified using GYGA climatic zones (Global Yield Gap Atlas) and the distribution of barley harvested area raster layers. Subsequently, the Reference weather Stations (RWSs) within the DCZs were selected based on the values of the harvested area, and the types of soil in each of RWSs were determined by using of HC-27 soil map. SSM-iCrop2 as a crop simulation model has been employed to estimate the potential yield (Y_p) in the RWSs of cultivated areas, which has previously been parameterized and evaluated, and the results have indicated the robustness of the model for simulating barley yield over the country. For estimating Y_g, the data of actual yield (Y_a) and the agronomic management data for estimating Y_p during 15 growing seasons (2000-2014), were collected at RWSs scale. Using A bottom-up approach, the yield, and production gap values were calculated at RWSs and subsequently aggregated to DCZs and finally, extended from DCZ to country-level according to the spatial distribution of crop area and climate zones.

Results and Discussion

Based on GYGA protocol, 48 RWSs within 12 DCZs of irrigated barley harvested areas were demonstrated. Aggregation from the RWSs results to DCZs illustrated that the average of potential yield in DCZs of irrigated barley was estimated 7090 kg.ha^{-1} and the range varied from 5283 to 8286 kg.ha^{-1}. Nevertheless, the Y_a range in these climate zones was calculated between 1406 and 3723 with an average of 3009 kg.ha^{-1}. According to the results, the DCZs which confronted to higher temperatures during the growing season have lower yields and also a significant reverse correlation between the potential yield and the growth length period (R^2 = 0.88 and p ≤0.01) were shown. The correlation between total received daily solar radiation during the growing and Y_p in the DCZs

1- Ph.D. Student, Agronomy department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
2- Associate Professors, Agronomy Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
3- Professor, Agronomy Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
*Corresponding Author: zeinalistudents@gmail.com
Doi: 10.22067/jag.v13i2.81833

was significant, positively season ($R^2 = 0.98$ and $p \leq 0.01$). At present, the range of difference between actual and potential yield varies between 3237 to 4697 kg.ha^{-1} with an average of 4081 kg.ha^{-1} (equivalent to 58% yield gap). In other words, just around 24 to 50 percent (on an average of 42 percent) of estimated Y_p in irrigated barley fields can be attainable. According to the irrigated barley harvested areas, the actual and potential production gap are calculated about 2.21 and 2.99 million tons in the country, respectively, and under the best management condition can lead the production to be about 4.17 million tons.

Conclusion

According to the results, it was demonstrated about 58% relative yield gap between the averages of actual yield (3008 kg.ha^{-1}) and potential yield (7090 kg.ha^{-1}), which can be reduced by improving the production management in irrigated barley cultivated areas. For this reason, the current production of barley in irrigated lands can be increased from 2.12 to 4.17 million tons. This increase in production (1.96 million tons) could provide a significant part of the country's need to the barley and bring the country closer to achieve full self-sufficiency.

Keywords: Actual yield, Crop simulation model, Global atlas, Potential yield